

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-015839

(43)Date of publication of application : 19.01.2001

(51)Int.Cl.

H01S 3/094

G02F 1/37

H01S 3/109

H01S 3/16

(21)Application number : 11-187614

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD

(22)Date of filing : 01.07.1999

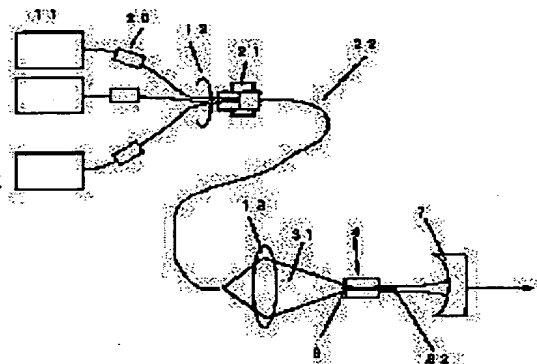
(72)Inventor : MAKIO SATOSHI
MITA MASAHIRO

(54) OPTICAL FIBER EXCITATION SOLID LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To contrive an increase in the efficiency of an excitation of a solid laser using a bundling optical fiber.

SOLUTION: In the case where a bundling optical fiber 12 for transmitting laser beams from a plurality of fiber output semiconductor lasers 11 is used as an optical fiber for transmitting a laser beam from a semiconductor laser for excitation of a solid layer, a single core optical fiber 22 having the same core diameter as the outermost diameter of an aggregated fiber core or a core diameter larger than the outermost diameter is connected with the optical fiber 12 via an optical connector adaptor 21. As a result, excitation light from the solid laser which is excellent in the balance of its excitation can be obtained, and a solid laser beam source having the good efficiency of an excitation is obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

BEST AVAILABLE COPY

(11)特許出願公開番号
特開2001-15839
(P2001-15839A)

1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 励起光源により励起される固体レーザ結晶と、前記固体レーザ結晶から発生する発振波を反射するレーザミラーとからなる固体レーザ光源であって、前記励起光源として半導体レーザを光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じ若しくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを、光コネクタアダプタにより接続することで、シングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いたことを特徴とする光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項 2】 励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ結晶と、固体レーザ結晶から発生する第 1 の発振波の波長を制御するための制御素子と、前記第 1 の発振波を基本波として第 2 の発振波である第二高調波に波長変換するための非線形光学結晶とを有する共振器からなる第二高調波発生装置を構成し、前記固体レーザの励起光源として半導体レーザを光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じ若しくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを、光コネクタアダプタにより接続することで、シングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いたことを特徴とする光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項 3】 前記半導体レーザの発光幅がシングルストライプもしくはマルチストライプ型アレーであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項 4】 前記固体レーザ結晶が LiSAF ($\text{Cr}:\text{LiSrAlF}_6$; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム) 又は LiSGAF ($\text{Cr}:\text{LiSrGaF}_6$; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムガリウム) であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項 5】 前記固体レーザ結晶から発生する第 1 の発振波長を制御するための制御素子としてプリースタ角に傾けた 1 枚の複屈折結晶を用いることを特徴とする請求項 2 乃至請求項 4 のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項 6】 前記非線形光学結晶に LBO (LiB_3O_5)、 BBO ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$)、 CLBO ($\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$)、 CBO (CsB_3O_5)、 GdCOB ($\text{GdCaO}(\text{BO}_3)_3$)、 YCOB ($\text{YCaO}(\text{BO}_3)_3$)、 KN (KNbO_3) の少なくとも 1 つを用いることを特徴とする請求項 2 乃至請求項 5 のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

2

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光エレクトロニクス分野に関し、特にレーザ光源および可視レーザ光源を用いたレーザプリンタ装置、微粒子検出装置、光造形装置、光記録装置等のレーザ応用装置に関する。

【0002】

【従来の技術】固体レーザにおける励起光源として用いられる半導体レーザは、固体レーザ励起用に高い出力が要求される。高出力を得るために半導体レーザはレーザの発光幅であるストライプ幅を $100\mu\text{m}$ 以上と広げることで高い出力を得ている。これら半導体レーザの発光面は $100\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ と長方形であり、半導体レーザからの出射光は縦横方向のビーム拡がり角が大きく異なり、プリズムなどによるビーム補正の光学系でいったん平行ビームに整形して、集光レンズを用いて固体レーザ結晶を励起する。集光されたビームは発光面の形状が保存されるために長方形をしている。一般に固体レーザ共振器のビーム形状は円形であり、レーザ発振の効率を上げるためには共振器内のビーム形状と固体レーザに入射される励起ビームを一致させる必要がある。励起ビームが長方形の場合、共振器ビーム形状 (円形) から外れた励起ビームは殆どが熱に変換されるだけでレーザ発振には寄与しない。

【0003】このため、レーザ発振の効率を上げるために励起ビームの形状を円形にする方法として、光ファイバを伝送してきた光を固体レーザの励起光として使用する方法がある。光ファイバは円形状のコアとクラッドから構成されており、コアの屈折率がクラッドよりも高いために光はコアとクラッドの境界面を全反射しながら伝送される。このため、光ファイバのコア径に依存した円形のビームを得ることができる。光ファイバからの出射光を固体レーザの励起光源として使用することは公知例 (特開昭 56-24989 号) により知られている。また、前記公知例により高い励起光を得るために複数の光ファイバを束ねてバンドル状にして用いることも知られている。図 4 は従来例を説明するための図であり、光ファイバ出力半導体レーザ 11 を複数個使用し、光ファイバを束ねてバンドルファイバ 12 としている。バンドルファイバから出力されたレーザ光 31 はレンズ 13 により固体レーザ 4 に集光して発振波 32 を発生させ、固体レーザ 4 の端面に形成されたミラー 3 とレーザミラー 7 とで共振器を形成している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】前記公知例では複数の光ファイバを束ねてバンドル状のまま用いる場合やそれぞれのバンドルファイバとシングルコアの単一光ファイバ融着して使用する方法を開示している。このようにバンドル形状のままの場合には、複数のコアが存在しており、それぞれのコアから別々に複数の励起ビームが出力

3

されることになり、半導体レーザの出力差などにより励起分布が不均一になる問題点がある。また、融着する場合にはコア径が熱処理により拡大したり、円形状からずれるなどにより、それぞれのコアからのビームの射出形状が異なり、接続融着部分での損失が発生する問題点があった。

【0005】

【課題を解決するための手段】前記技術課題を解決するための手段として、本願発明者らは複数本の光ファイバを束ねて光コネクタを作製し、複数のコアの束の最外径と同じかそれよりも大きなコア径を有するシングルコアの光ファイバに光コネクタアダプタを介して、光ファイバ端面どうしを直接、機械的に接続することにより、融着による変形損失の影響を低減することができる。つまり、複数の半導体レーザの出力の不均一性や損失を低減でき、複数の光ファイバ出力を単一の円形で安定したシングルコア光ファイバとして合成できることを見出し、本発明に想到したものである。

【0006】すなわち本発明は、励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ結晶と、前記固体レーザ結晶から発生する発振波を反射するレーザミラーとからなる固体レーザ光源であって、励起光源として半導体レーザを光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外径と同じもしくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを光コネクタアダプタにより接続してシングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いた光ファイバ励起固体レーザ装置である。

【0007】さらに、本発明は、励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ結晶と、固体レーザ結晶から発生する第1の発振波の波長を制御するための制御素子と、前記第1の発振波を基本波として第2の発振波である第二高調波に波長変換するための非線形光学結晶とを有する共振器からなる第二高調波発生装置においても、光ファイバ出力半導体レーザを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外径と同じもしくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを光コネクタアダプタにより接続してシングルコアからの光ファイバ出力光を固体レーザの励起用に用いた光ファイバ励起固体レーザ装置である。

【0008】ここで半導体レーザは、発光幅がシングルストライプあるいはマルチストライプ型アレー半導体レーザからの光を光ファイバに結合させて、光ファイバ出力としたものを用いることが望ましい。

【0009】半導体レーザ励起波長可変固体レーザ装置として波長750~1000nmで発振するレーザ結晶としてLiSAF (Cr:LiSrAlF₆; クロム添加のフッ化リチウ

4

ムストロンチウムアルミニウム) 結晶を用いたレーザ装置が提案されているが、ここで固体レーザ結晶にLiSAF (Cr:LiSrAlF₆; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム) 結晶を用いた場合には、第1の発振波を波長800~900nmの領域で発生することができ、青色領域(波長400~450nm)の第2の発振波を発生できる。またあるいは、前記の固体レーザ結晶にLiSGAF (Cr:LiSrGaF₆; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムガリウム) 結晶を用いる場合には、第1の発振波を800~1000nmの領域で発生することができ、青色領域の波長400~500nmの第2の発振波を発生できる。

【0010】また、LiSAF結晶から発生する第1の発振波長を制御するための制御素子としてLiSAF結晶と非線形光学結晶の間にプリースタ角に傾けた1枚の複屈折結晶を配置することで、効率良くレーザ光を発生できる。

【0011】また、位相整合半値幅が比較的広いLBO (LiB₃O₅)、BBO (β -BaB₂O₄)、CLBO (CsLiB₆O₁₀)、CBO (CsB₃O₅)、GdCOB (GdCaO(BO₃)₃)、YCOB (YCaO(BO₃)₃)、KN (KNbO₃)の少なくとも1つをSHG結晶である非線形光学結晶に用いることでSHG光を発生することができる。これらの手段を採用することで固体レーザの特長である小型で、取り扱いが容易かつ低消費電力の固体レーザ装置を高効率で実現できる。

【0012】

【発明の実施の形態】(実施例1) 本発明である、バンドル光ファイバとシングルコア光ファイバの関係を説明する。図1は光ファイバの構成図を説明するための図である。図1(a)は光ファイバ単体の断面を示し、

(b)は3本の光ファイバとこれに対応する最外径のコア径103 (D3)を示し、(c)は同様にそれぞれ7本、19本、37本を束ねた場合の最外径(103 (D7) (D19) (D37))を一緒に図示したものである。

図1(a)では光ファイバのコア102の径をaとし、クラッド101の径をbとしている。光ファイバを束ねてバンドルにするには、なるべく隙間がない様に束ねるために、図1(b)、(c)に示す様にバンドルファイバの本数nは3、7、19、37・・・本と言うように組み合わせの本数が限られてしまう。そこでバンドル光ファイバを構成した場合、集合された光ファイバの最外径のコア径103をDnで表わすとすると、例えば、n=3でD3=2b/√3+a、n=7でD7=2b+aと言うように計算される。表1ではファイバコア径aと、クラッド径bがそれぞれ50μmと125μmの場合をa/b=50/125と表し、その計算結果を示している。つまり、n=3でD3=194.3μm、n=7でD7=300μm、n=19でD19=550μm、n=37でD37=800μmである。一方、同様に100μmと140μmの場合はa/

10

20

30

40

50

5

6

$b=100/140$ とし、 $n=3$ で $D3=261.6\mu\text{m}$ 、 $n=7$ で $D7=380\mu\text{m}$ 、 $n=19$ で $D19=660\mu\text{m}$ 、 $n=37$ で $D37=940\mu\text{m}$ と計算される。

*【0013】

【表1】

N	DN	a/b (μm)	
		50/125	100/140
1	a	50	100
3	$2b/\sqrt{3+a}$	194.3	261.6
7	$2b+a$	300	380
19	$4b+a$	550	660
37	$6b+a$	800	940
.	.		
.	.		
.	.		

【0014】図1(b)及び(c)のコア径103(D3)(D7)(D19)(D37)は、それぞれのシングルコア光ファイバのコア径に対応して見立てることができる。例えば、 $a/b=50/125$ の光ファイバを3本束ねたバンドルでは、コアの最外径は $194.3\mu\text{m}$ となるので、接続すべきシングルコア光ファイバとしてはこれよりも大きいコア径、つまり103(D3)よりも大きい径の例えば $200\mu\text{m}$ のものを使用しなければならないということになる。このように表1に示したバンドルファイバのコア径に対して、接続する側のシングルコア光ファイバのコア径は損失を最小限にするために D_n と同じ、若しくはそれよりも大きい径を選択することが必要である。これによって低損失かつ効率的にシングルコアの光ファイバに結合することができる。

【0015】図2は本発明の一実施例を説明するための図である。光ファイバ出力半導体レーザ11を3個使用し、光ファイバを束ねたバンドルファイバ12と光コネクタ20を介して接続している。ファイバ出力半導体レーザ11はコヒレント社製の光ファイバコア径 $100\mu\text{m}$ 、出力 400mW で発振波長 670nm である。表1より $D3=261.6\mu\text{m}$ であるため、シングルコア光ファイバコア径は $300\mu\text{m}$ とした。バンドルファイバ12は光コネクタアダプタ21によりコア径 $300\mu\text{m}$ のシングルコア光ファイバ22と接続されている。本例の最大光ファイバ出力は約 1200mW が得られ、このときの結合損失は0.5%であった。シングルコア光ファイバ22から出力されたレーザ光31はレンズ13により固体レーザ4に集光される。

【0016】励起される固体レーザ結晶4は発振波を発生し、曲率ミラーである出射側のレーザミラー7と固体レーザ結晶4の入射端面に形成された発振波を反射するレーザミラー3からなるレーザ共振器でレーザ光を発生する。第一のレーザミラー3は固体レーザ結晶の半導体レーザの入射端面に形成されており、半導体レーザから

の励起光波長に対して85%以上を透過し、さらに基本波波長に対しては反射率99%以上の全反射（以下単にHRという；High-Reflection）コーティングを施してある。また、共振器の内側の端面には基本波波長に対して反射率2%以下の無反射（以下単にARという；Anti-Reflection）コーティングを施してある。このとき共振器構造は凹平式共振器であり、第二のレーザミラー7の曲率半径は 25mm 、共振器長は 20mm とし、発振波を1%透過する反射膜コーティングを施してある。レーザ結晶4にはCr添加量1.5mol%のLiSAF結晶($\phi 3\times 5\text{mm}$)を用いた。このときのレーザ発振波の出力光としては 100mW が得られた。

【0017】シングルコア光ファイバ22を用いないで図4の従来例の様にファイババンドル12からの励起光でレーザ発振させた場合にはレーザ発振波の出力は 80mW しか得られなかった。本実施例1では固体レーザ結晶としてCr:LiSAF結晶を用いたが、他の波長帯の固体レーザ結晶としてNdやYb等をドープした固体レーザ結晶を用いたレーザにも適応可能であることは明らかである。

【0018】（実施例2）図3は本発明の他の実施例を説明するための共振器部分のみの図である。半導体レーザおよび集光光学系からなる励起光学系は実施例1と同様である。励起される固体レーザ結晶4は基本波である第1発振波を発生し、曲率ミラーである入射側の第一のレーザミラー3とSHG結晶6の出射端面に形成された第1の発振波を反射する第二のレーザミラー7とからなるレーザ共振器で第1の発振波である基本波32を発生する。レーザ共振器中にはレーザ結晶4と波長制御素子5とSHG結晶6が配置されている。第一のレーザミラー3は半導体レーザからの励起光波長に対して85%以上を透過し、さらに基本波波長に対しては反射率99%以上の全反射（HR）コーティングを施してある。このとき共振器構造は凹平式共振器であり、第一のレーザミ

7

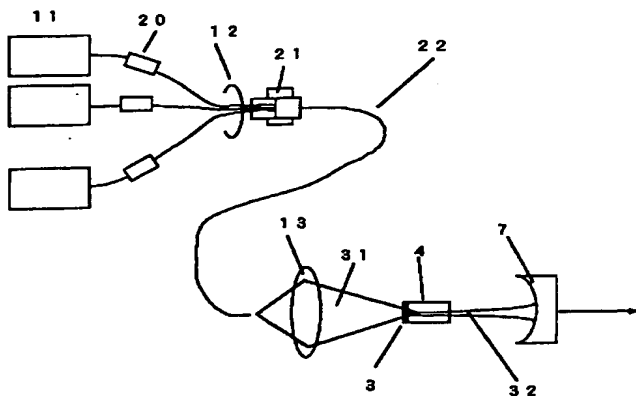
ラー 3 の曲率半径は 25 mm、共振器長は 20 mm とした。レーザ結晶 4 には Cr 添加量 1.5 mol % の LiSAF 結晶 ($\phi 3 \times 5$ mm) を用い、結晶端面には励起光波長と基本波波長に対して反射率 2 % 以下の無反射 (AR) コーティングを施してある。SHG 結晶 6 は $3 \times 3 \times 5$ mm の LBO 結晶である。

【0019】LBO 結晶の出射側つまり後方端面には基本波波長に対して反射率 99 % 以上の HR コーティングと、さらに SHG 波長に対して反射率 1 % 以下の AR コーティングを施して第二のレーザミラー 7 とした。また、LBO 結晶の入射側つまり前方端面には基本波波長に対して反射率 0.2 % 以下の AR コーティングを施した。波長制御素子 5 には厚さ 0.5 mm の 1 枚の水晶板からなる複屈折フィルタを用い、光軸に対してブリュースター角に配置して法線方向を軸に回転させることで波長制御し、SHG 結晶 6 である LBO 結晶の変換効率が最大となる基本波の波長に調整することで SHG 出力 30 mW を得た。

【0020】

【発明の効果】本発明では固体レーザの励起用半導体レーザとして複数のファイバ出力半導体レーザによるバンドル光ファイバを用いる場合に集合されたファイバコアの最外径と同じ若しくはそれよりも大きなシングルコア光ファイバを光コネクタアダプタにより接続することで、励起バランスの優れた固体レーザ励起光を得ることにより、固体レーザや特に LiSAF レーザを用いた内部共振器型 SHG レーザにおいて、励起効率が良い固体 *

【図 2】



8

*レーザ光源を実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例であるバンドル光ファイバを説明するための図である。

【図 2】本発明の一実施例を説明するための図である。

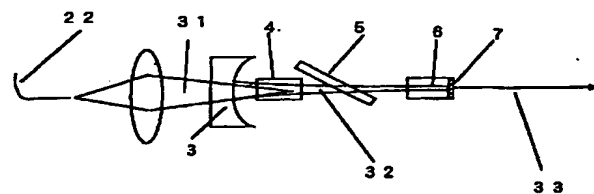
【図 3】本発明の他の一実施例を説明するための図である。

【図 4】従来に提案された光ファイバ励起固体レーザを説明するための図である。

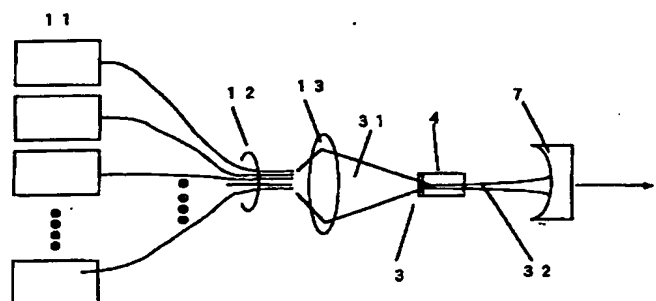
10 【符号の説明】

- | | |
|---------------------|----------------|
| 3 : 第一のレーザミラー | 4 : レーザ結晶 |
| 5 : 波長制御素子 | 6 : SHG 結晶 |
| 7 : 第二のレーザミラー | 11 : 半導体レーザ |
| 12 : バンドル光ファイバ | 13 : レンズ |
| 20 : 光コネクタアダプタ | 21 : 光コネクタアダプタ |
| 22 : シングルコア光ファイバ | 31 : 励起ビーム |
| 32 : 基本波ビーム | 33 : SHG 出力 |
| 101 : 光ファイバクラッド | 102 : 光ファイバコア |
| 103 : バンドル光ファイバの最外径 | |

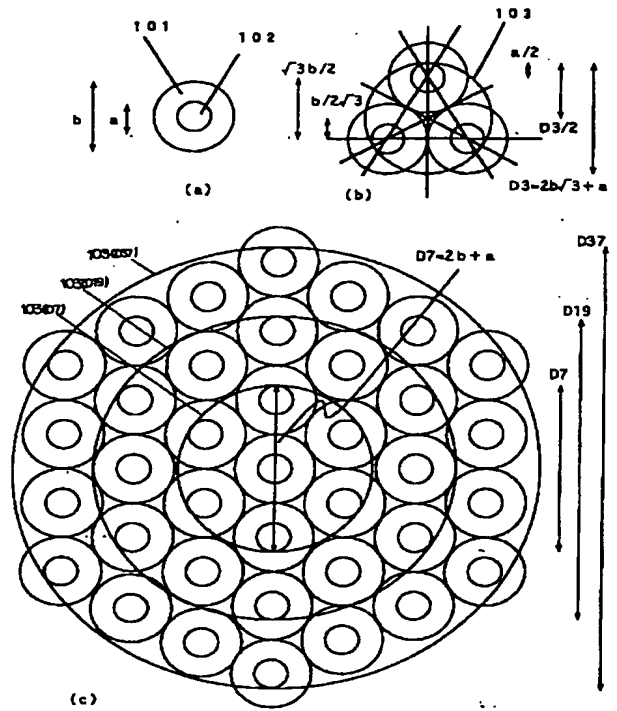
【図 3】



【図 4】



【図 1】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.